



INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense

Câmpus
Passo Fundo

EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA: MÓDULOS, ARRANJOS, CÉLULA - III

Alexsander Furtado Carneiro

INVERSOR

- Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (c.a.) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c.).
- A energia c.c. pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos.
- A tensão c.a. de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas.

INVERSOR

- Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede.
- Existe uma diversidade grande de tipos de inversores em função das peculiaridades de suas aplicações.
- Na maioria dos casos os equipamentos eletroeletrônicos que utilizamos funcionam com tensão de 127V ou 220V e de corrente alternada, que são características da rede elétrica local.

INVERSOR

- Vimos que o sistema fotovoltaico apresentado até então era de baixa tensão e de corrente contínua. Dessa forma, é intuitivo imaginar que, para fazer funcionar equipamentos eletroeletrônicos que funcionam com tensões da rede (127V ou 220V) em corrente alternada, é necessário um equipamento que converta a energia fornecida pelos módulos e baterias (corrente contínua em baixa tensão) para valores adequados às novas cargas (corrente alternada em tensão elevada).

INVERSOR

Os equipamentos que convertem energia de corrente contínua em corrente alternada são chamados conversores DC/AC ou simplesmente inversores. Os inversores podem ser classificados como:

- Inversores isolados – Convertem tensão contínua em alternada sem haver a necessidade de estar conectado a uma rede elétrica.
- Inversores conectados à rede – Convertem tensão contínua em alternada com a necessidade de estar conectado a uma rede elétrica para fazer a leitura dos parâmetros de tensão e frequência da mesma.

INVERSOR

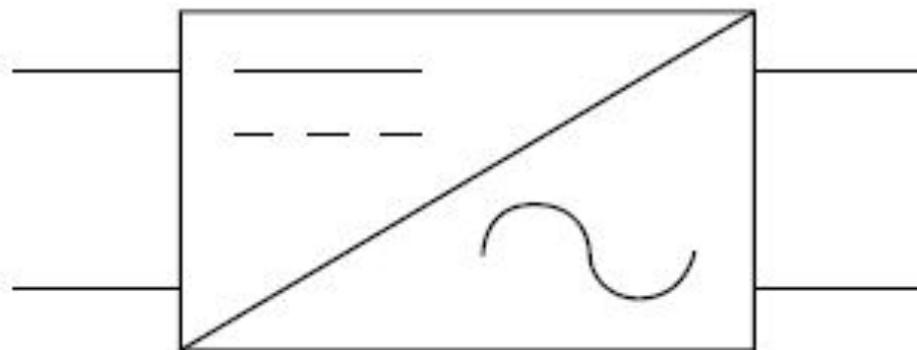
- Podemos encontrar inversores de variadas potências a depender de sua aplicação, sendo os de baixa potência (até algumas dezenas de kilowatt) para aplicações simples como em residências, por exemplo, e os de alta potência, chamados de inversores centrais, utilizados em usinas fotovoltaicas com potência de centenas de kilowatt.
- A depender da aplicação, os inversores podem receber energia de um único módulo fotovoltaico (microinversor), de um único string (quando a tensão de entrada do inversor é maior do que a tensão de um único módulo) ou até de vários strings

INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos isolados, comumente chamados de inversores isolados, são equipamentos eletrônicos que geralmente recebem em sua entrada 12V ou 24V de corrente contínua (DC) e convertem para 127V ou 220V em corrente alternada (AC) com frequência fixa de 50Hz ou 60Hz.

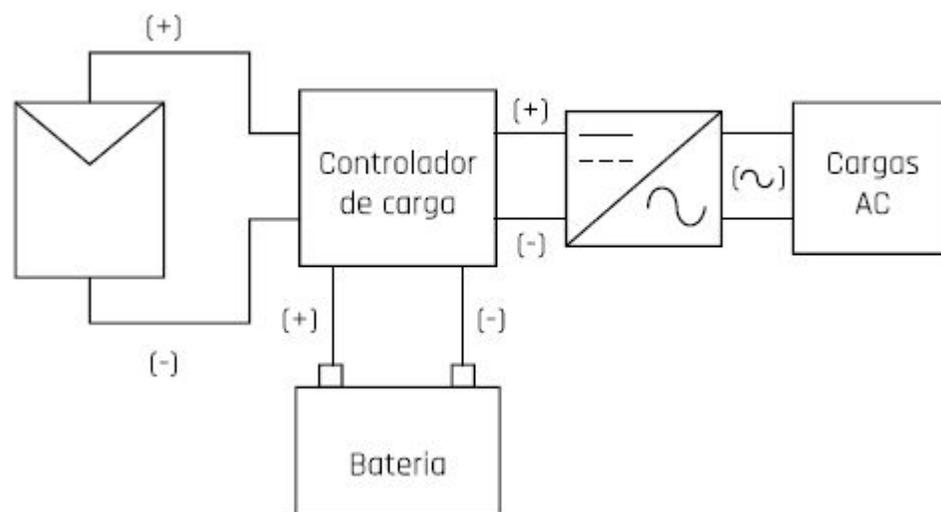
INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

A simbologia utilizada para representar um inversor é a seguinte:



INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

O inversor é conectado entre o controlador de carga e os equipamentos eletroeletrônicos que funcionam com corrente alternada. A figura ilustra isso.



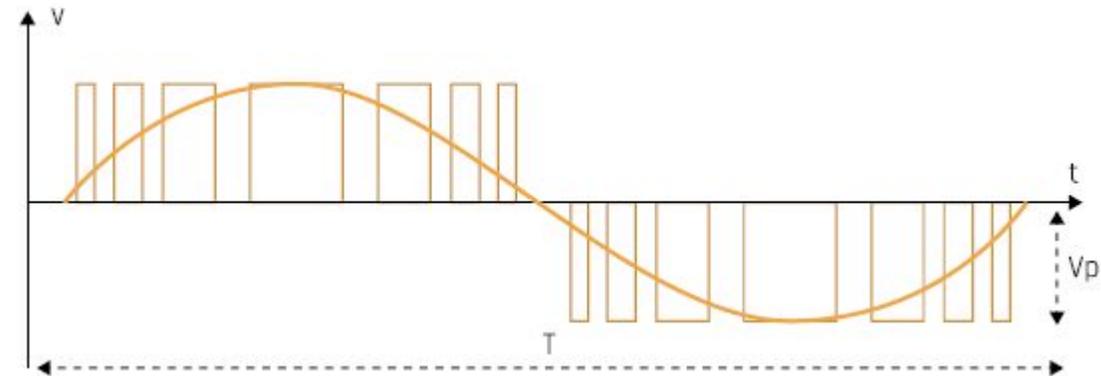
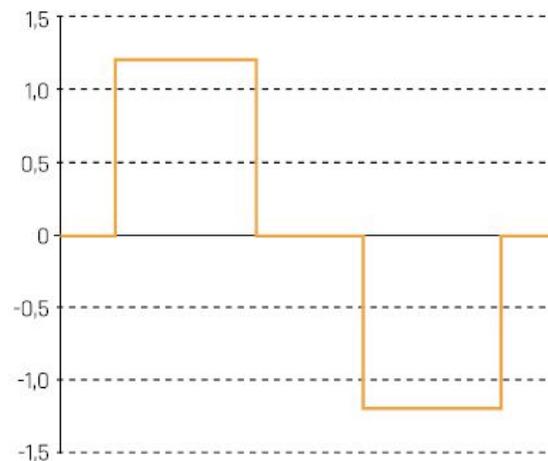
FORMAS DE ONDA NOS INVERSORES

São várias as formas de onda que podemos encontrar nos inversores isolados. Os inversores comerciais mais comuns podem ser de onda quadrada, retangular (senoide modificada), PWM ou senoidal.

ONDA QUADRADA



ONDA RETANGULAR



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES ISOLADOS COMERCIAIS

Vejamos algumas características elétricas que podemos encontrar nos inversores comerciais:

Tensão de entrada: Os inversores isolados de pequeno ou médio porte geralmente podem receber em sua entrada 12VDC ou 24VDC. Inversores de porte maior podem apresentar uma tensão de entrada maior, da ordem de 100VDC ou mais, isso é feito para diminuir a corrente na entrada do inversor.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES ISOLADOS COMERCIAIS

Tensão de saída: No comércio brasileiro podemos encontrar inversores com saída de 127VAC ou 220VAC devido à diferença de tensão que podemos encontrar entre as regiões do país. É importante sempre observar a tensão de trabalho das cargas que serão ligadas ao inversor para evitar qualquer problema.

Frequência da onda: Podemos encontrar inversores com frequência de onda de 50Hz ou 60Hz. No Brasil a frequência da rede é de 60Hz e muitos equipamentos eletroeletrônicos desenvolvidos e vendidos no país só funcionam nessa frequência.

Por isso a importância de verificar a frequência da onda do inversor.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES ISOLADOS COMERCIAIS

Potência: Comercialmente podemos encontrar inversores que vão de potências de dezenas de watt, como os inversores automotivos que podem alimentar pequenas cargas (celular, notebook) dentro do carro, até dezenas de milhares de watt em casos de centrais de geração fotovoltaica isolada. Não devemos ultrapassar a potência nominal do inversor, pois o mesmo poderá ser danificado.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES ISOLADOS COMERCIAIS

Potência de pico: Outra característica importante é a potência de pico que o inversor pode suportar, pois indica o quanto de sua potência nominal poderá ser ultrapassada por um curto período de tempo sem que o mesmo seja danificado. Muito importante quando vamos ligar cargas elétricas que demandam muita potência na sua partida, como é o caso dos motores elétricos.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Em 17 de abril de 2012 o Brasil deu o primeiro grande passo em direção ao fortalecimento das energias renováveis no país com a resolução de número 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Essa resolução trata da regularização de sistemas de geração de energia elétrica através de fontes de energias renováveis (fotovoltaica, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas) conectados à rede de distribuição elétrica.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Os sistemas de geração podem ser classificados a partir de sua potência instalada:

- Microgeração: Sistemas de potência de pico instalada de até 75kW. Compreende a maioria dos sistemas fotovoltaicos residenciais.
- Minigeração: Sistemas de potência de pico instalada entre 75W e 5MW. São, na maioria dos casos, empregados em indústrias onde o consumo de energia é muito elevado.
- Usina de geração de eletricidade: Potência instalada acima de 5MW. Engloba as usinas de geração voltadas para o comércio de energia elétrica.

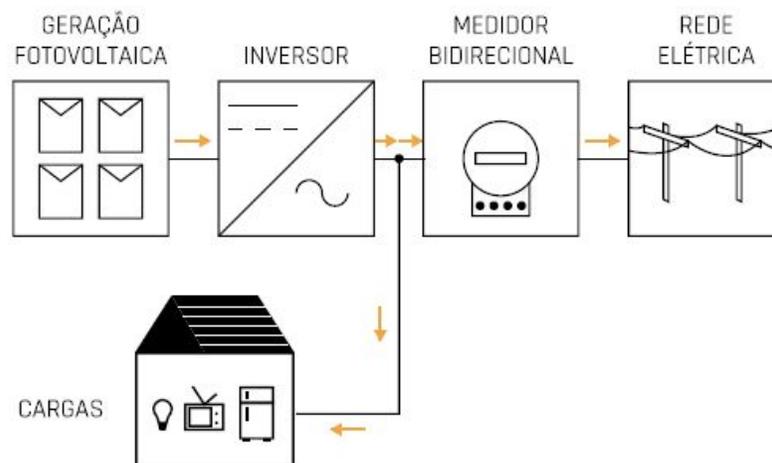
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Sistemas de micro e minigeração são instalados para realizar um abatimento no consumo de energia da rede elétrica diminuindo o valor a ser pago às concessionárias.

Diferente de países como Alemanha e Portugal, no Brasil os sistemas de microgeração e minigeração não podem vender energia.

FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Os sistemas conectados à rede elétrica são instalados em paralelo à rede local e seu funcionamento é muito simples. No momento em que o sistema fotovoltaico gera mais energia do que está sendo consumido, o excesso de energia que sobra é injetada na rede elétrica e registrada por um medidor do tipo bidirecional.



FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

No momento em que a geração é menor que o consumo de energia, a rede elétrica passa a fornecer a energia que falta às cargas e o consumo de energia da rede é registrado pelo medidor.

Durante a noite, momento em que os módulos fotovoltaicos não geram energia, toda energia consumida pelas cargas é fornecida pela rede elétrica local e todo consumo é também registrado pelo medidor bidirecional de energia elétrica.

FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

A fatura de energia elétrica que chega mensalmente ao usuário deve informar a quantidade de energia elétrica injetada na rede e a quantidade de energia elétrica consumida da rede naquele mês.

A energia cobrada ao usuário será o valor líquido entre o que foi injetado na rede e o que foi consumido da rede elétrica. Caso o saldo do mês seja positivo para a geração, ou seja, a quantidade de energia injetada na rede tenha sido maior do que a energia consumida da rede naquele mês, será creditada em sua fatura de energia o excedente resultante da geração desse mês que poderá ser utilizado nos meses seguintes.

FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Observação: Muito embora o usuário feche o mês com saldo positivo na sua geração, ainda deverá ser cobrado um valor mínimo devido o estabelecido em contrato de prestação de serviços, como por exemplo iluminação pública entre outros.

INVERSORES CONECTADOS À REDE ELÉTRICA ELÉTRICA

Diferentemente dos inversores para sistemas isolados, os inversores para sistemas conectados à rede elétrica necessitam da rede para funcionar. Os inversores conectados à rede (também conhecido como inversores Grid-Tie) realizam a leitura de parâmetros da rede constantemente para trabalhar em sincronismo com a mesma.

Caso algum desses parâmetros não esteja dentro de valores pré-definidos pelo fabricante ou usuário o inversor é desligado automaticamente e deixa de mandar energia para a rede.

INVERSORES CONECTADOS À REDE ELÉTRICA ELÉTRICA

Dentre muitas exigências cobradas pelas concessionárias para autorizar o uso de inversores conectados à rede, uma delas é que o inversor tenha a função anti-ilhamento.

Essa função garante que o inversor pare de fornecer energia no momento em que a rede elétrica seja desligada.

INVERSORES CONECTADOS À REDE ELÉTRICA ELÉTRICA

Podemos citar muitos casos que mostram a importância dessa função, mas citaremos apenas uma:

"Quando a rede elétrica local é desenergizada para a realização de uma manutenção é importante que o inversor pare de mandar energia para a rede. Caso o inversor continue fornecendo energia, o técnico que está realizando a manutenção na rede corre um enorme risco de sofrer uma descarga elétrica proveniente do sistema fotovoltaico."

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

Os inversores conectados à rede podem apresentar características elétricas de entrada bem diferentes em comparação aos inversores isolados.

Começando pela tensão de entrada, os inversores isolados apresentam uma tensão de entrada bem definida, geralmente 12VDC ou 24VDC, enquanto que os inversores conectados à rede geralmente trabalham com uma faixa de tensão mais elevada.

Talvez fique mais fácil de notar a diferença e as particularidades dos inversores conectados à rede com um exemplo.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

Exemplo - A tabela abaixo mostra os dados fornecidos por um fabricante de inversores conectados à rede:

DC		AC	
$V_{DC\max}$	500 V	V_{AC}	220 V
V_{DCMPP}	200 - 400 V	P_{AC}	3800 W
$I_{DC\max}$	20 A	f_{AC}	60 Hz
		$I_{AC\max}$	18 A

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

Vejam os o significado de cada parâmetro desses:

V_{DCmax} : Indica o valor máximo da tensão de entrada do inversor. Tensões de strings maiores que a especificada pode levar a queima do inversor. Nesse inversor a máxima tensão por string é de 500V.

V_{DCMPP} : Faixa de tensão de entrada na qual o inversor opera extraíndo a máxima potência do arranjo fotovoltaico. Para esse inversor essa faixa de tensão vai de 200 a 400 volts. Com tensões entre 400 e 500 volts o inversor opera normalmente, no entanto a função MPPT não irá atuar.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

I_{DC} max: Máximo valor de corrente DC na entrada do inversor. Valores acima do especificado podem provocar a queima do inversor. Para o inversor desse exemplo a corrente DC máxima de entrada é de 20 ampéres.

V_{AC} : Tensão nominal da rede elétrica no qual o inversor será interligado. Geralmente existe uma tolerância da variação dessa tensão na qual o inversor aceita para funcionar. Se considerarmos que a variação de tensão aceitável pelo inversor seja de $\pm 5\%$, então valores de tensão abaixo de $209 V_{AC}$ e $231 V_{AC}$ fazem com que o inversor **deixe** de funcionar e entre em modo de segurança.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

P_{AC} : Potência máxima que o inversor pode fornecer a rede elétrica. É comum a utilização de um arranjo fotovoltaico que tenha potência nominal igual a do inversor para que o mesmo opere com máxima eficiência. Para esse inversor a potência máxima é de 3800 watts.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

f_{AC} : Valor nominal de frequência da tensão da rede no qual o inversor pode operar.

Como na tensão AC, existe uma tolerância na qual essa frequência pode variar sem que o inversor deixe de operar. Se considerarmos para esse inversor uma variação máxima de $\pm 4\text{Hz}$, a frequência da rede pode variar entre 56 Hz e 64Hz que o inversor funcionará normalmente.

$I_{AC\text{max}}$: Máximo valor de corrente que o inversor pode injetar na rede elétrica. Para esse inversor a máxima corrente é de 18 ampéres.

REFERÊNCIAS

NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. CEPEL-DTE-CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro- Março 2014.

MUITO
OBRIGADO

Alexander Furtado Carneiro

Professor de Eletrotécnica

www.ifsul.edu.br
E-mail de contato
TELEFONE DE CONTATO